

GRISPE PLUS



VALORISATION OF KNOWLEDGE
FOR SPECIFIC PROFILED STEEL SHEETS

WP Nr.: 3

WP Titel: E-Lectures

Deliverable Nr.: 3.1 (4)

Titel: Bemessungsregeln

Datum: 31. Juli 2018

**Das GRISPE PLUS Projekt wurde vom Forschungsfonds der
Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl (RFCS)
im Rahmen der Förderungsvereinbarung Nr. 754092 unterstützt**

Autor(en)

Thibault RENAUX, JORIS IDE

Zeichnungshistorie

ABSCHLIESSENDE ENTWURF - Datum: 8. Juli 2018

ENDFASSUNG - Datum: 31. Juli 2018

Verbreitungsgrad

PU	öffentlich	X
PP	Beschränkt auf die Kommissionsdienststellen, die Technischen Gruppen Kohle und Stahl und das Europäische Komitee für Normung (CEN).	
RE	Beschränkt auf eine von den Begünstigten angegebene Gruppe	
CO	Vertraulich, nur für Begünstigte (einschließlich der Kommissionsdienststellen)	



BEMESSUNGSREGEL FÜR WELLPROFILE

Unterstützt durch RFCS – Förderungsvereinbarung Nr. 754092

ENDFASSUNG

Disclaimer notice and EU acknowledgement of support Disclaimer notice

By making use of any information or content in this manual you agree to the following:

No warranties

All the information or content provided in this manual is provided "as is" and with no warranties. No express or implies warranties of any type, including for example implied warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, are made with respect to the information or content, or any use of the information or content in this manual.

The authors make no representations or extend no warranties of any type as to the completeness, accuracy, reliability, suitability or timeliness of any information or content in this manual.

Disclaimer of liability

This manual is for informational purposes only. It is your responsibility to independently determine whether to perform, use or adopt any of the information or content in this manual.

The authors specifically disclaim liability for incidental or consequential damages and assume no responsibility or liability for any loss or damage suffered by any person as a result of the use or misuse of any of the information or content in this manual.

The authors will not be liable to you for any loss or damage including without limitation direct, indirect, special or consequential loss or damage, or any loss or damage whatsoever arising from loss of data or loss of business, production, revenue, income, profits, commercial opportunities, reputation or goodwill, arising out of, or in connection with, the use of the information or content in this manual.

The authors do not represent, warrant, undertake or guarantee that the use of the information or content in this manual will lead to any particular outcome or results.

Reasonableness

By using this manual, you agree that the exclusions and limitations of liability set out in this disclaimer are reasonable. If you do not think they are reasonable, you must not use this manual.

Severability

If any part of this disclaimer is declared unenforceable or invalid, the remainder will continue to be valid and enforceable.

"The information and views set out in this report, article, guide, etc. (select the correct word) are those of the author(s) and do not necessarily reflect the official opinion of the European Union. Neither the European Union and bodies nor any person acting on their behalf may be held responsible for the use which may be made of the information or views contained therein"

EU acknowledgement of support

The GRISPE project has received financial support from the European Community's Research Fund for Coal and Steel (RFCS) under grant agreement n° 75 4092.

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieser Bemessungsregel ist es, ein neues Bemessungsverfahren für Wellprofilprofile vorzustellen, welches in dem europäischen Projekt GRISPE PLUS entwickelt wurde.

Die Regeln basieren auf den Grundsätzen des Eurocodes im Allgemeinen und den Eurocodes EN 1993-1-3 und EN 1993-1-5 im Besonderen.

Dieses neue Bemessungsverfahren für Wellprofile basiert auf Versuchen, die im Rahmen des europäischen GRISPE-Projekts (2013-2016) durchgeführt wurden.

Der Hintergrund dieses Verfahrens ist in den GRISPE Projektergebnissen D2.5 beschrieben.

Kapitel 1 beschreibt die Art der Profile, den Stand der Technik, die wichtigsten Forschungsergebnisse von GRISPE und die allgemeinen Bemessungsanforderungen und -regeln.

Kapitel 2 beschreibt die Vorbemessungen, die während der Entwurfsphase zu berücksichtigen sind sowie die minimalen technischen Anforderungen, die eingehalten werden müssen, einschließlich Unterkonstruktion, Profileigenschaften und Montage.

Kapitel 3 gibt die grundlegenden technischen Anforderungen an.

Kapitel 4 gibt die Materialeigenschaften der Profile und Verbindungselemente an.

Kapitel 5 berücksichtigt die zu betrachtenden Einwirkungen (Eigengewicht, usw.) und Lastfallkombinationen.

Kapitel 6 erklärt detailliert die neuen Bemessungsregeln (Grundsätze, Anwendungsfeld und Beschreibung, wie die neuen Formeln eingesetzt werden).

Kapitel 7 berücksichtigt besondere Bemessungsbetrachtungen (Feuer, Erdbeben, Umweltaspekte, thermische und akustische Aspekte, usw.).

Kapitel 8 enthält ein Bemessungsbeispiel des neuen Bemessungsverfahrens.

Ein Literaturverzeichnis und der Änderungsvorschlag für EN 1993-1-3 sind enthalten.

VORWORT

Diese Bemessungsregeln wurden mit Unterstützung der RFCS-Förderung Nr. 754092 erstellt.

Diese neue Bemessungsmethode wurde in der Evolutionsgruppe der EN 1993-1-3 in den Jahren 2016-2017 vorgestellt und wird für die Aufnahme in die Eurocodes in Betracht gezogen.

Diese Bemessungsregeln wurden von Anna PALISSON verfasst und in einer GRISPE PLUS Arbeitsgruppe diskutiert, die sich aus folgenden Mitgliedern zusammensetzt:

Mickaël BLANC	Frankreich
Silvia CAPRILI	Italien
David IZABEL	Frankreich
Markus KUHNENNE	Deutschland
Anna PALISSON	Frankreich
Valérie PRUDOR	Frankreich
Irene PUNCELLO	Italien
Dominik PYSCHNY	Deutschland
Thibaut RENAUX	Frankreich
Daniel SPAGNI	Frankreich

Korrespondierende Mitglieder mit einbezogen:

Léopold SOKOL	Frankreich
---------------	------------

ABBILDUNGEN UND TABELLEN

Die Abbildungen und Tabellen stammen aus folgenden Quellen:

Abbildung 1.1.1	JORIS IDE
Abbildung 1.1.2	JORIS IDE
Abbildung 1.2.1	JORIS IDE
Abbildung 1.2.2	Copy of EN 1993-4-1
Abbildung 1.2.3	Copy of StBK-N5
Abbildung 1.3.1	KIT / JORIS IDE
Abbildung 1.3.2	KIT / JORIS IDE
Tabelle 1.3	KIT
Abbildung 1.3.3	KIT
Abbildung 1.3.4	KIT
Abbildung 1.3.5	KIT
Abbildung 6.3.1.1	Copy of StBK-N5
Abbildung 6.3.1.2	Copy of StBK-N5
Abbildung 8.2	JORIS IDE
Abbildung 8.4.3.1	JORIS IDE
Abbildung 8.4.3.2	Copy of StBK-N5
Abbildung 8.5.2	JORIS IDE

INHALTSVERZEICHNIS

UMFANG DER VERÖFFENTLICHUNG	8
BEZEICHNUNGEN	8
1. EINLEITUNG	9
1.1. Art der Wellprofile aus Stahl	9
1.2. Stand der Technik	9
1.3. Zentrale Ergebnisse von GRISPE	12
1.4. Allgemeine Bemessungsanforderungen und -regeln	16
2. VORBEMESSUNG	16
2.1. Anwendungsgebiet des neuen Bemessungsverfahrens	16
2.2. Technologische Anforderungen des Rahmens	16
2.3. Minimale technologische Anforderungen des Wellprofils aus Stahl	17
3. TECHNISCHE GRUNDLAGEN	17
3.1. Auflager	17
3.2. Profilbleche und CE-Kennzeichnung	17
4. MATERIALEIGENSCHAFTEN	17
4.1. Wellprofile aus Stahl	17
4.2. Verbindungsmittel	17
4.3. Sicherheitsbeiwerte	17
5. EINWIRKUNGEN UND LASTFALLKOMBINATIONEN	17
6. BEMESSUNGSGRUNDLAGE	18
6.1. Grundlage	18
6.2. Anwendungsbereich des neuen Bemessungsverfahrens	18
6.3. Bemessungsverfahren	18
6.3.1. Allgemein anwendbares Bemessungsverfahren	18
6.3.2. Vereinfachtes Verfahren für einen begrenzten Anwendungsbereich	19
7. BESONDERE BEMESSUNGSBETRACHTUNGEN	19
8. BEMESSUNGSBEISPIEL	20
8.1. Beschreibung des Rahmens und Lastannahmen	20
8.1.1. Informationen über das Gebäude	20
8.1.2. Lastannahmen	20
8.2. Beschreibung des Wellprofils aus Stahl	21
8.3. Nachweis mittels des vereinfachten Ansatzes	22
8.3.1. Lasteinleitung	22

Bemessungsregeln für Wellprofile

8.3.2.	Anwendung des vereinfachten Verfahrens	22
8.4.	Nachweis unter Verwendung des genauen Verfahrens	23
8.4.1.	Wellprofile aus Stahl	23
8.4.2.	Lasteinleitung	23
8.4.3.	Anwendung des genauen Verfahrens	23
8.5.	Nachweisführung der Software	26
8.5.1.	Software Information	26
8.5.2.	Überprüfung des Beispiels	26
LITERATURVERZEICHNIS		29
ANHANG: ERGÄNZUNGSPROJEKT ÜBERMITTELT AN CEN.....		31

UMFANG DER VERÖFFENTLICHUNG

Ziel dieser Veröffentlichung ist es, das neue Bemessungsverfahren für Wellprofile vorzustellen, das zur Aufnahme in den Eurocode EN 1993-1-3 vorgeschlagen wurde.

Diese Bemessungsregeln befassen sich mit aktuellen Situationen.

Für spezielle Sachverhalte (z.B. Öffnung) oder für Ausnahmesituationen (Erdbeben, Feuer, usw.) sind die entsprechenden Bestimmungen der Eurocodes und/oder [1] zu beachten.

BEZEICHNUNGEN

In Ergänzung zu den in EN 1993-1-3 genutzten Bezeichnungen werden die folgenden Symbole verwendet:

I_y :	Flächenträgheitsmoment [mm^4/mm]
R :	Radius [mm]
W_y :	Widerstandsmoment [mm^3/mm]
η :	Koeffizient der genauen Methode zur Berechnung der Momenten Tragfähigkeit [-]
σ_{elr} :	Knickspannung [N/mm^2]
σ_c :	reduzierte Spannung [N/mm^2]

1. EINLEITUNG

1.1. Art der Wellprofile aus Stahl

Diese Bemessungsregeln behandeln Wellprofile aus Stahl (siehe Abbildung 1.1.1). Wellprofile aus Stahl weisen, anstelle der ebenen Abschnitte bei Trapezprofilen, eine gleichmäßige Rundung auf.

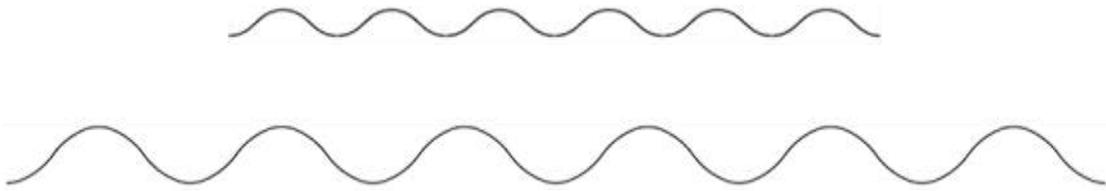


Abbildung 1.1.1 – Gebräuchliche Geometrie von Wellprofilen aus Stahl

Zurzeit werden zwei Befestigungsmethoden in Europa genutzt: Verbindungselemente auf dem Rippenobergurt oder am Rippenuntergurt, wie zu sehen in Abbildung 1.1.2:



Abbildung 1.1.2 – Verbindungselement auf dem Rippenobergurt (links) oder am Rippenuntergurt (rechts).

1.2. Stand der Technik

Die Norm [2] deckt nicht die Bemessung von Wellprofilen aus Stahl ab, welches eines der ältesten kaltgeformten Wellprofile ist, das täglich zur Fassadenverkleidung und Dachdeckung bei Gebäudehüllen in Europa verwendet wird.

Aus diesem Grund scheint es notwendig den Ingenieuren Bemessungsinstrumente zur Verfügung zu stellen, welche ein Ausweichen auf Versuchsreihen vermeiden. Dies war unter anderem Ziel des GRISPE Projekts.

Zur Bemessung eines Wellprofils aus Stahl kann die konventionelle Biegetheorie herangezogen werden, da aufgrund der gleichmäßigen Rundungen dieses Profils kein lokales Beulen zu erwarten ist.

Basierend auf einer klassischen Analyse der geometrischen Trägheit ist es möglich ein Verfahren zur Bestimmung des Flächenträgheitsmoments einer Standardgeometrie von Wellprofilen aus Stahl zu ermitteln, wie in Abbildung 1.1.1, unter Berücksichtigung der folgenden Parameter:

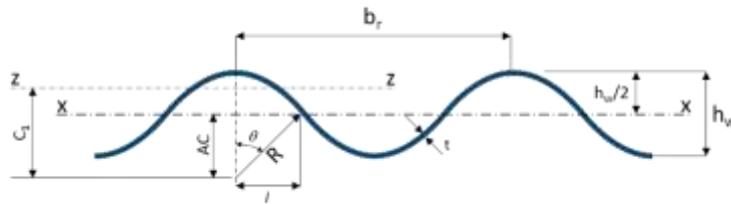


Abbildung 1.2.1 – Geometrische Parameter für klassisches Flächenträgheitsmoment von Wellprofilen.

Das Flächenträgheitsmoment kann wie folgt bestimmt werden:

- Radius der Krümmung: $R = 5 \cdot h_w / 4$;
- Länge $l = h_w$;
- Winkel θ : $\sin \theta = l / R$;
- Abstand zwischen Schwerpunkt des Bogens ('z-z' Achse) und Bogenmitte: $C_1 = (R \cdot \sin \theta) / \theta$;
- Abstand zwischen Bogenmitte und Achse 'x-x': $AC = R - (h_w / 2)$;
- Und abschließend Flächenträgheitsmomente für ein Viertel des Bruttoquerschnitts:

$$I'_{xx} = R^3 \cdot \left(\frac{\theta + \sin \theta \cdot \cos \theta}{2} - \frac{(\sin \theta)^2}{\theta} \right) + (R \cdot \theta) \left[C_1 - \left(R - \frac{h_w}{2} \right) \right]^2$$

Damit lässt sich das Widerstandsmoment bestimmen durch:

$$W_{xx} = \frac{4 \cdot I'_{xx} \cdot t}{b_R \cdot h_w / 2}$$

In der Deutschen Norm [3] werden einige statische Eigenschaften in einem Parameterbereich des Höhen/Radius-Verhältnisses angegeben, in dem kein Knicken zu erwarten ist.

In Artikel [4] ist eine Berechnung gegeben, welche anhand des Vergleichs mit FE-Berechnungen entwickelt wurde. Dieses Vorgehen beinhaltet Parameter entsprechend dem üblichen Verfahren bei Knickproblemen, welche anhand des Vergleichs mit FE-Berechnungen bestimmt wurden und die Berechnung eines Abminderungsfaktors χ zur Bestimmung der Biegespannungen eines zylindrischen Elements ermöglichen. Es bleibt zu überprüfen, ob die wellenförmig profilierten Bleche in die Krümmung des Felds der CTICM-Studie passen. Die verschiedenen Schritte werden nachfolgend aufgeführt:

- Krümmungsparameter: $Z = b^2 / (R \cdot t)$, mit b als die Bogenlänge (Breite des Wellprofils), R der Radius der Krümmung und t die Dicke;
- Eulerspannung:

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 \cdot E}{12(1-\nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b} \right)^2 ;$$

- Knickbeiwert:

$$k_c^{(Z)} = \frac{k_c^{plate}}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{48 \cdot (1-\nu^2)}{\pi^4 \cdot (k_c^{plate})^2} \cdot Z^2} \right) \text{ und } k_c^{plate} = 4 ;$$

Bemessungsregeln für Wellprofile

- Kritische Knickspannung:

$$\sigma_{cr}^{(Z)} = k_c^{(Z)} \cdot \sigma_E;$$

- Reduzierte Schlankheit: $\bar{\lambda} = \sqrt{f_y / \sigma_{cr}^{(Z)}}$;

- Zwischenwerte für den Abminderungsfaktor χ : $\bar{\lambda}_0 = 0,33$, $\beta = 0,73$ und α_Z gegeben in Abhängigkeit von Z in einer Tabelle;

- Abminderungsfaktor:

$$\chi = \frac{2\beta}{\beta + \bar{\lambda} + \sqrt{(\beta + \bar{\lambda})^2 - 4\beta(\bar{\lambda} - \alpha_Z(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0))}};$$

- Biegespannung: $\sigma_u = \chi \cdot f_y$.

Ein Beispiel für das vorgeschlagene Berechnungsverfahren wird zur Veranschaulichung gegeben.

Die Norm [5] Eurocode 3 (Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Silos) gibt Beziehungen zwischen der Steifigkeit, dem Flächenträgheitsmoment und der Momententragfähigkeit für Wellprofile wie folgt an:

- Steifigkeit für axialen Druck:

$$C_y = Et \left(1 + \frac{\pi^2 d^2}{4l^2} \right);$$

- Flächenträgheitsmoment: $I_y = 0,13 \cdot t \cdot d^2$ in der Schreibweise von Scheibentragwerken und $I_x = 0,13 \cdot t \cdot h_w^2$ in der Schreibweise aus [2];
- Mit den folgenden geometrischen Parametern:

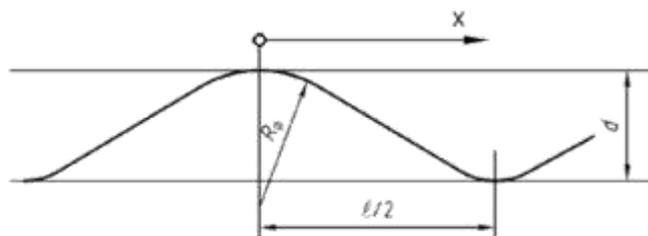


Abbildung 1.2.2 – Geometrische Parameter für EN 1993-4-1.

Es lässt sich herleiten, dass sich die Momententragfähigkeit $M_{c,Rd}$ über die folgende Beziehung bestimmen lässt:

$$M_{c,Rd} = \frac{0,13 \cdot t \cdot h_w^2}{\frac{h_w}{2}} \cdot \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,26 \cdot t \cdot h_w \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

Die Schwedische Norm [6] behandelt einen Ansatz zur Bestimmung des maximalen Biegemoments für Wellprofile mit sinusförmigem oder ähnlichem Querschnitt unter Berücksichtigung von lokalem Beulen.

In Abhängigkeit von dem Verhältnis zwischen dem Radius der Krümmung r und der Blechdicke t ändert sich die Berechnung des charakteristischen Moments.

Bemessungsregeln für Wellprofile

Wenn gilt $r/t \leq 0,04 \cdot E/f_{yb}$ muss der Querschnitt nicht auf lokales Beulen kontrolliert werden und das charakteristische Biegemoment lässt sich bestimmen durch: $M_{c,Rk} = W_y \cdot f_{yb}$

Wenn gilt $r/t > 0,04 \cdot E/f_{yb}$ muss das charakteristische Biegemoment unter Verwendung einer abgeminderten Druckspannung entsprechend den folgenden Schritten bestimmt werden:

- Koeffizient η : $\eta = 0,19 + 0,67/\sqrt{1 + r/(100 \cdot t)}$;
- Abgeminderte Knickspannung: $\sigma_{elr} = 0,60 \cdot \eta \cdot E \cdot t/r$;
- Schlankheitsverhältnis: $\alpha = \sqrt{f_{yb}/\sigma_{elr}}$;
- Für $\alpha \leq 0,30$: $\sigma_c = f_{yb}$;
- Für $0,30 < \alpha < 1,10$: $\sigma_c = (1,126 - 0,419 \cdot \alpha) \cdot f_{yb}$;
- Für $1,10 \leq \alpha$: $\sigma_c = \frac{0,8}{\alpha^2} \cdot f_{yb}$.

Und schließlich: $M_{c,Rk} = W_y \cdot \sigma_c$.

Abbildung 1.2.3 zeigt die Entwicklung der maximalen Druckspannung in Abhängigkeit vom Schlankheitsverhältnis aus [6]:

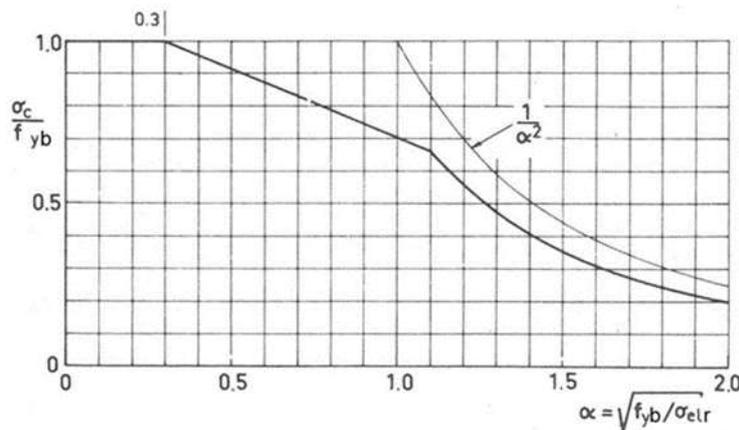


Abbildung 1.2.3 – Maximale Druckspannung unter Berücksichtigung von lokalem Beulen des zylindrischen Abschnitts des Profils.

Das Flächenträgheitsmoment, welches zur Berechnung der Durchbiegung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit genutzt wird, sollte unter Verwendung desselben Verfahrens wie dem für das Biegemoment ermittelt werden, jedoch mit einer abgeminderten Spannung $f_{yb}/1,5$.

1.3. Zentrale Ergebnisse von GRISPE

Ziel des GRISPE Projekts war die Entwicklung eines Bemessungsmodells zur Berechnung der Tragfähigkeit im Feld und am Zwischenaufleger, sowie unter lokalen Lasten (Tragfähigkeit am Endlager).

Es wurden zwei für die am meisten verwendeten Wellprofile repräsentative Profilarten für die Versuche ausgewählt:

- 18 mm Tiefe mit einem Radius von 23 mm und einer Wellenlänge von 76 mm wie in Abbildung 1.3.1 gezeigt:

Bemessungsregeln für Wellprofile

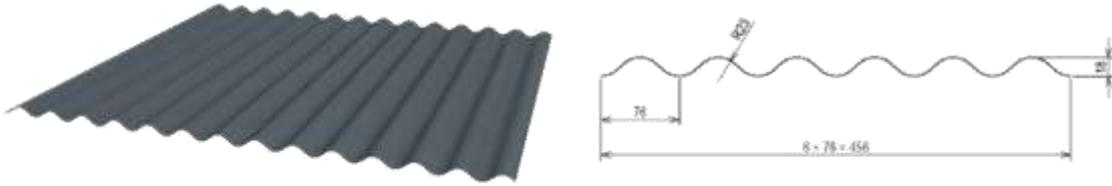


Abbildung 1.3.1 – Kleines Wellprofil aus Stahl zur Untersuchung.

- 46 mm Tiefe mit einem Radius von 29,25 mm und einer Wellenlänge von 150 mm wie in Abbildung 1.3.2 gezeigt:

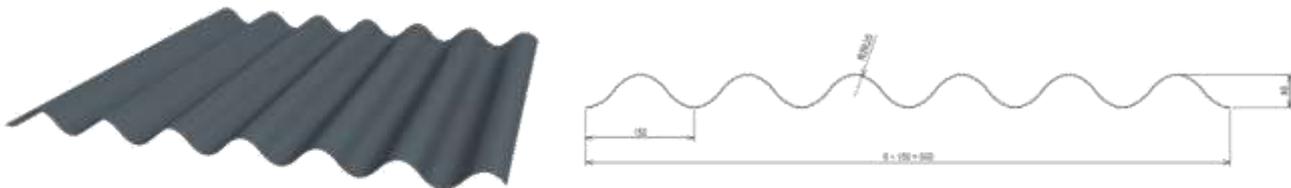


Abbildung 1.3.2 – Großes Wellprofil aus Stahl zur Untersuchung.

Insgesamt wurden 95 Versuche an Wellprofilen durchgeführt, um die Biegemomententragfähigkeit sowie die Traglast im Feld und an den Zwischenauflagern zu bestimmen (Kombination des Biegemoments und der Auflagerreaktion). Diese schließen Versuche an Einfeldträgern für den Lastfall „andrückende Last“ (positive Biegung), Zwischenauflagerversuche für die Lastfälle „andrückende Last“ und „abhebende Last“, Endlagerversuche für den Lastfall „andrückende Last“ und Schubversuche für die Bestimmung der charakteristischen Werte der Tragfähigkeit ein.

Type of test	Thickness [mm]	Support width [mm] / Fastening	Span [mm]		Number of tests	
			18/76	46/150	18/76	46/150
Single span test with gravity loading	0.63	-	1500	2000	3	6
	1.00	-	2000	3000	3	3
Internal support tests with gravity loading	0.63	10	400	600	2	2
			800	1000	2	2
		40	400	600	2	2
			800	1000	2	2
	1.00	10	400	600	2	2
			1000	1200	2	2
40	400	600	2	2		
	1000	1200	2	2		
Internal support tests with uplift loading	0.63	valley	400	600	2	2
			800	1000	2	2
		crest	400	600	2	2
			800	1000	2	2
	1.00	valley	400	900	2	2
			1000	1400	2	2
crest	400	900	2	2		
	1000	1400	2	2		
End support tests with gravity loading	0.63	-	1000	1050	4	3
	1.00	-	1000	1050	4	3
Shear test	0.63	-	1000	1000	1	1

Tabelle 1.3 – Während des Projekts GRISPE durchgeführte Versuchsreihen.

Bemessungsregeln für Wellprofile

Zwischenauflagerversuche für den Lastfall „abhebende Last“ wurden in zwei Reihen geteilt: Eine für die Fixierung des Rippenobergurts und die andere für die Fixierung des Rippenuntergurts (siehe Absatz 1.1).

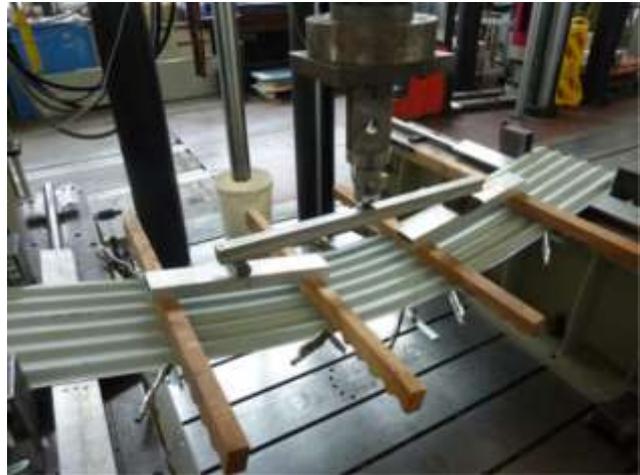
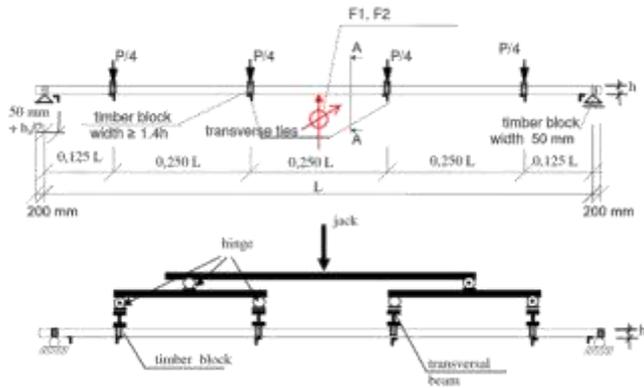


Abbildung 1.3.3 – Schematischer Versuchsaufbau und Versagensbeispiel für den Versuch am Einfeldträger.

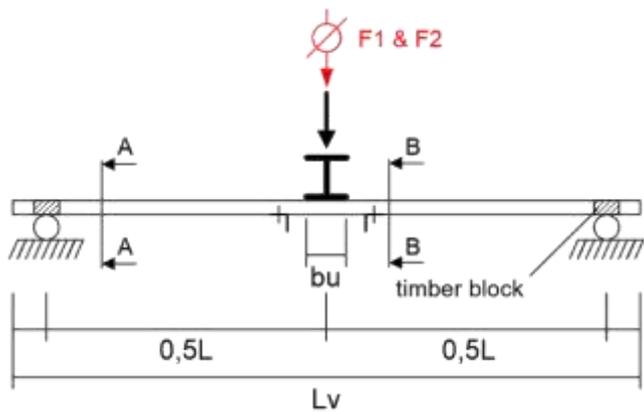


Abbildung 1.3.4 – Schematischer Versuchsaufbau und Versagensbeispiel für einen Zwischenaufgerversuch unter andrückender Belastung.

Bemessungsregeln für Wellprofile

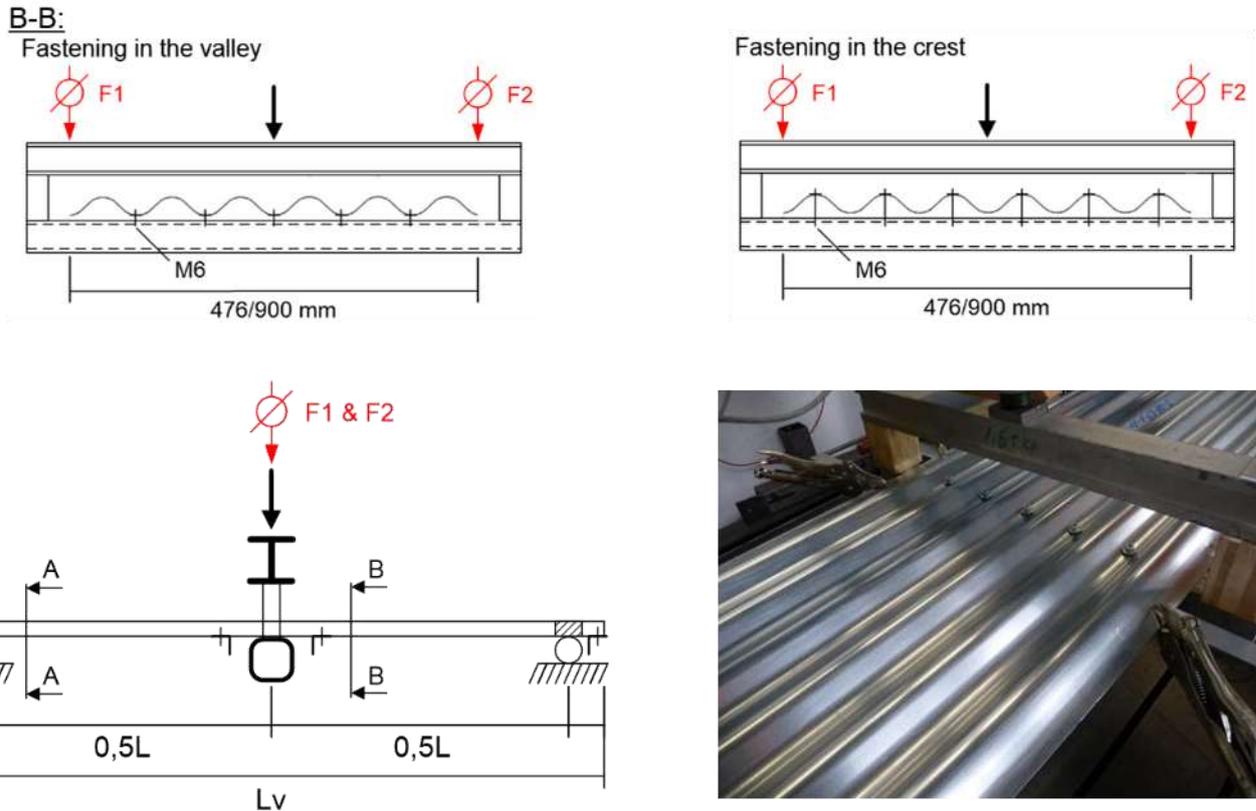


Abbildung 1.3.5 – Schematischer Versuchsaufbau und Versagensbeispiel (Fixierung in den Rippenuntergurt) für Zwischenaufgerversuche mit Lastfall abhebende Last.

Zudem wurde eine Reihe von Zugversuchen in das Versuchsvorhaben mit einbezogen, um die Materialeigenschaften der Prüfkörper zu bestimmen. Die Analyse und Interpretation der Versuche war auf die Traglast und die Materialkennwerte von Wellprofilen mit sinusförmigen oder ähnlichen Querschnitten konzentriert.

Für die Spannung unter Schubbelastung konnte im Rahmen des Projekts experimentell belegt werden, dass bei den aktuell getesteten Profilen der Schubwiderstand immer größer als der Widerstand am Auflager war (also nicht kritisch).

Für das Verhalten als Einfeldträger unter Druck werden zwei Formeln vorgeschlagen:

- Eine unter Berücksichtigung von EN 1993-4-1 Artikel 4.4, basierend auf einer äquivalenten Biegebarkeit (Biegesteifigkeit).
- Und die andere basierend auf einem Schwedischen Verfahren (Knickspannung).

Zur Ermöglichung der Bemessung der gewellten Profile unter Biegung mit diesen zwei Verfahren wurde eine Excel-Tabelle entwickelt.

Für das Verhalten der Profile als Mehrfeldträger weisen die Ergebnisse nicht auf eine klare Verhaltensregel hin, da zu viele Parameter Einfluss auf das Verhalten haben, sodass mehr Versuche notwendig sind, um zu einer realisierbaren Lösung zu gelangen. Die Abminderung des maximalen Biegemoments wird durch die folgenden Parameter beeinflusst:

- R/t-Verhältnis des Abschnitts des Querschnitts, der mit dem Auflager in Kontakt ist;
- die Wellenlänge und die abgerollte Länge einer Welle;

- Breite und Typ des Auflagers;
- Größe der Auflagerreaktion/Belastung, Position und Richtung der Last.

Es ist wesentlich die Tatsache zu beachten, dass die Last/Auflagerreaktion entweder als Druck- oder Zugkraft wirkt. Wenn die Auflagerreaktion sich als Zug auf den Querschnitt verhält, hat dies keine Auswirkungen auf das Biegemoment.

Für die Tragfähigkeit des Endlagers und die Schubtragfähigkeit waren die Ergebnisse zu verschieden, um eine allgemeine Bemessungsregel aufzustellen.

Zusammengefasst: Das Projekt GRISPE hat zwei Verfahren für Biegung am Einfeldträger vorgeschlagen. Im Fall anderer Situationen ist das Projekt zum Ergebnis gekommen, dass die Anzahl an Parametern, die das Verhalten am Auflager beeinflussen, zu groß ist und somit viele weitere Versuche notwendig gewesen wären, um ein sicheres Bemessungsverfahren zu bestimmen.

Es wurde entschieden, dass die für Biegung am Einfeldträger (isostatisches Verhalten des Profils) entwickelte Berechnungsmethode in den Eurocode übertragen werden kann.

1.4. Allgemeine Bemessungsanforderungen und -regeln

Das folgende Bemessungsverfahren bietet lediglich einen Weg zur Berechnung des Bemessungswiderstands von Wellprofilen aus Stahl auf zwei Auflagern in Bezug zu [7], dessen Ergänzung [8] und Korrektur [9]. Bemessungswerte der Beanspruchungen müssen in Einklang mit jedem relevanten Abschnitt von [10], dessen Korrektur [11], [12] und [13] und Ergänzung [14], [15] sowie dessen Korrektur [16] und Ergänzung [17] ausgewertet werden.

Das nachfolgende Vorgehen berücksichtigt die in [18] und dessen Korrektur [19] und Ergänzung [20] gegebenen allgemeinen Regeln sowie die Grundlage der Bemessung, die in Abschnitt zwei aus [2] und dessen Korrektur [21] definiert wird.

2. VORBEMESSUNG

2.1. Anwendungsgebiet des neuen Bemessungsverfahrens

Diese Bemessungsregeln geben ein Verfahren für die Bestimmung des Widerstands von Wellprofilen aus Stahl in Übereinstimmung mit [1] an.

Diese Methode ist im Anwendungsbereich der minimalen technischen Anforderungen gängig, wie in den nachfolgenden Abschnitten erläutert.

Dieses Verfahren deckt nicht die Lastverteilung für Ausführungs- und Wartungsbelastungen.

Die in diesen Bemessungsregeln gegebenen Verfahren sind nur gültig, wenn die Toleranzen der kaltgeformten Bauteile mit [2] und [21] übereinstimmen.

2.2. Technologische Anforderungen des Rahmens

Das Wellprofil aus Stahl muss bei gleichförmig verteilter Belastung als Einfeldträger befestigt werden.

Eine direkte Kontaktstelle des Wellprofils mit einem Betonaufleger ist nicht erlaubt.

2.3. Minimale technologische Anforderungen des Wellprofils aus Stahl

Profilbleche haben innerhalb der zulässigen Toleranzen eine konstante Nennblechdicke über ihre Gesamtlänge und dürfen entweder einen gleichbleibenden Querschnitt oder einen längsveränderlichen Querschnitt entlang ihrer Länge besitzen.

Wellprofile aus Stahl weisen eine gleichmäßige Krümmung anstatt der ebenen Bereiche wie bei Trapezblechen auf.

Die Dicke t ist die Stahlbemessungsdicke (die extrahierte Kerndicke des Stahls abzüglich der Toleranz, wenn es wie in Abschnitt 3.2.4 der EN [2] spezifiziert benötigt wird), wenn nicht anders angegeben.

Das Wellprofil aus Stahl muss die folgenden Eigenschaften aufweisen:

- Verhältnis $r/t \leq 0,1 \cdot E/f_{yb}$;
- Wellenlänge: $76 \text{ mm} \leq p \leq 150 \text{ mm}$;
- Höhe: $18 \text{ mm} \leq h \leq 46 \text{ mm}$;
- Minimale Kerndicke des Stahls von 0,55 mm.

3. TECHNISCHE GRUNDLAGEN

3.1. Auflager

Auflager stimmen für das Material Stahl mit [18] bis [20] oder für das Material Holz mit [22] bis [25] überein.

3.2. Profilbleche und CE-Kennzeichnung

Profilbleche aus Stahl sind gemäß [1] CE-gekennzeichnet.

4. MATERIALEIGENSCHAFTEN

4.1. Wellprofile aus Stahl

Die Materialeigenschaften müssen die in [2], Abschnitt 3 gegebenen Anforderungen mit einer minimalen Stahlsorte von S 320 GD + Z erfüllen.

4.2. Verbindungsmittel

Die Materialeigenschaften müssen die in [2], Abschnitt 8 gegebenen Anforderungen erfüllen.

4.3. Sicherheitsbeiwerte

Die Sicherheitsbeiwerte müssen die in [2], Abschnitt 2 gegebenen Anforderungen erfüllen.

5. EINWIRKUNGEN UND LASTFALLKOMBINATIONEN

Einwirkungen und Lastfallkombinationen müssen gemäß den folgenden Grundlagen berücksichtigt und bestimmt werden:

Bemessungsregeln für Wellprofile

- [8] und [9] für einfache Belastungen und Lastkombinationen,
- [10] und [11] für Eigen- und Nutzlasten,
- [12] bis [14] für Schneelasten,
- [15] bis [17] für Windlasten.

6. BEMESSUNGSGRUNDLAGE

6.1. Grundlage

Das neue Bemessungsverfahren dient der Berechnung der Biegesteifigkeit und der Momenten Tragfähigkeit der Wellprofile aus Stahl mit sinusförmigem oder einem ähnlichen Querschnitt.

6.2. Anwendungsbereich des neuen Bemessungsverfahrens

Das neue Bemessungsverfahren gilt für als Einfeldträger gelagerte Wellprofile aus Stahl unter einer gleichmäßig verteilten Belastung.

6.3. Bemessungsverfahren

6.3.1. Allgemein anwendbares Bemessungsverfahren

Dieses Verfahren ist unter Berücksichtigung von lokalem Beulen in der Druckzone gültig.

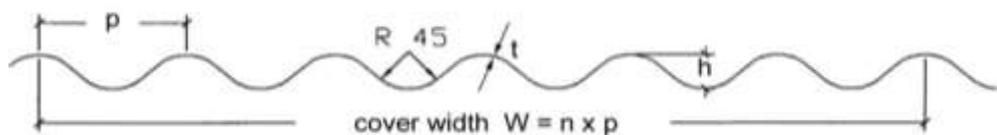


Abbildung 6.3.1.1 – Typischer Querschnitt

Es können zwei Fälle auftreten:

- Für $R/t \leq 0,04 \cdot E/f_{yb}$: Der Querschnitt muss nicht auf lokales Beulen überprüft werden und das charakteristische Biegemoment kann bestimmt werden durch: $M_{c,Rk} = W_y \cdot f_{yb}$;
- Für $R/t > 0,04 \cdot E/f_{yb}$: Das charakteristische Biegemoment muss unter Verwendung einer abgeminderten Druckspannung σ_c berechnet werden: $M_{c,Rk} = W_y \cdot \sigma_c$.

Mit:

- Schlankheitsgrad: $\lambda = (f_{yb}/\sigma_{elr})^{0,5}$;
- Knickspannung: $\sigma_{elr} = 0,60 \cdot \eta \cdot E \cdot t/R$;
- Koeffizient η : $\eta = 0,19 + 0,67/(1 + R/(100 \cdot t))^{0,5}$;
- Für $\lambda \leq 0,30$: $\sigma_c = f_{yb}$;
- Für $0,30 < \lambda < 1,10$: $\sigma_c = (1,126 - 0,419 \cdot \lambda) \cdot f_{yb}$;
- Für $\lambda \geq 1,10$: $\sigma_c = (0,8/\lambda^2) \cdot f_{yb}$.

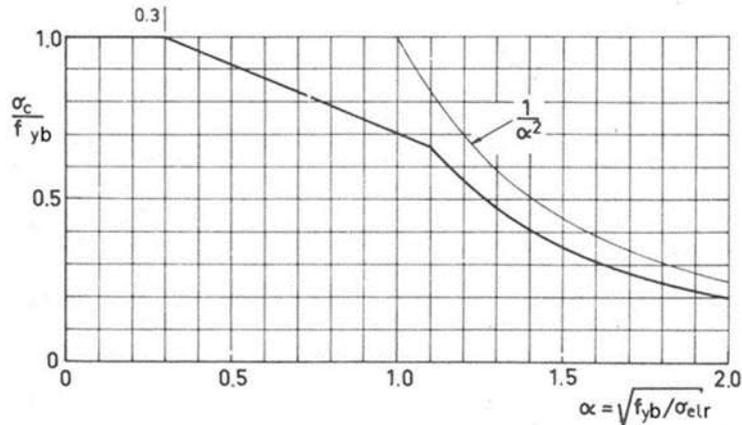


Abbildung 6.3.1.2 – Maximale Druckspannung unter Berücksichtigung von lokalem Beulen der zylindrischen Abschnitte des Profils.

Das Flächenträgheitsmoment, welches für die Berechnung der Verformungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit verwendet wird, muss unter Berücksichtigung des charakteristischen Biegemoments berechnet werden, jedoch mit einer abgeminderten Spannung $f_{yb}/1,5$.

6.3.2. Vereinfachtes Verfahren für einen begrenzten Anwendungsbereich

Wenn die Bedingungen:

- Wellprofil als Einfeldträger und,
- Gleichmäßig verteilte Belastungen und,
- Verhältnis $R/t \leq 0,1 \cdot E/f_y$ und,
- Kerndicke des Stahls $t_{cor} \geq 0,55 \text{ mm}$ und,
- Profilhöhe $18 \text{ mm} \leq h \leq 46 \text{ mm}$ und,
- Wellenlänge $76 \text{ mm} \leq p \leq 150 \text{ mm}$,

Erfüllt werden, kann das folgende vereinfachte Verfahren angenommen werden:

- Flächenträgheitsmoment je Breitereinheit: $I_y = 0,13 \cdot t \cdot h^2$;
- Widerstandsmoment je Breitereinheit: $W_y = 0,26 \cdot t \cdot h$;
- Charakteristisches Biegemoment: $M_{c,Rk} = W_y \cdot f_{yb}$

7. BESONDERE BEMESSUNGSBETRACHTUNGEN

Die nachfolgenden Sachverhalte werden nicht in diesen Bemessungsregeln behandelt:

- Für Feuer: Es sollten die nationalen Bestimmungen in Übereinstimmung mit EN 1991-1-2 und EN 1993-1-2 herangezogen werden;
- Für Erdbeben: Es sollten die nationalen Bestimmungen in Übereinstimmung mit EN 1998-1 herangezogen werden;
- Für Umweltaspekte: Es sollten die nationalen Bestimmungen herangezogen werden;

Bemessungsregeln für Wellprofile

- Für thermische Berechnungen: Es sollten die nationalen Bestimmungen in Übereinstimmung mit EN 1991-1-5 herangezogen werden;
- Für akustische Berechnungen: Es sollten die nationalen Bestimmungen herangezogen werden.

Und dies gilt außerdem für alle anderen nicht eindeutig als höher oder niedriger eingestuften Themen.

8. BEMESSUNGSBEISPIEL

8.1. Beschreibung des Rahmens und Lastannahmen

Dieses Bemessungsbeispiel behandelt einen geneigten Einfeldträger im Dach eines Gebäudes mit Rahmentragwerk (bestehend aus einem IPE 80 Träger) und einer gängigen Spannweite von 1,15 m. Die Nachweise werden für die Bereiche H und I gemäß 7.2.4 der EN 1991-1-4 geführt.

Die Dachdeckung wird durch ein Wellprofil aus Stahl mit Nenndicke 0,64 mm errichtet.

8.1.1. Informationen über das Gebäude

Das Gebäude mit einer Höhe von 16 m, Gebäude 1, befindet sich in einem Industriegebiet nahe Oostende (Belgien) und hat eine einfache Dachneigung von 45°.

Der Grundwert der Windgeschwindigkeit $v_{b,0}$ beträgt 26 m·s⁻¹.

Die Geländekategorie wird zu 0 angenommen.

Der Richtungsfaktor c_{dir} und der Jahreszeitenbeiwert c_{season} werden auf 1 festgelegt. Der Orographiefaktor $c_0(z)$ wird mit 1 angesetzt.

Der empfohlene Wert von 1 wird für den Turbulenzfaktor k_t gewählt.

Für die Luftdichte ρ , wird der empfohlene Wert verwendet: $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$.

Die Lage des Gebäudes ist in einer Gegend mit turbulentem Wind: $C_e = 0,8$ entsprechend [12].

Der Formbeiwert für Schneelasten μ_i beträgt 0,8.

8.1.2. Lastannahmen

Dieses Bemessungsbeispiel behandelt nicht die Montagephase. In der Leistungsphase werden Belastungen durch Windeffekte und Eigenlasten bestimmt.

Schneelasten werden aufgrund des charakteristischen Werts der Schneelast auf dem Boden s_k auf Höhe des Meeresspiegels von 0,2 kN/m² gemäß [12] und einem Kombinationsbeiwert Ψ_0 von 0,5 entsprechend des Belgischen nationalen Anhangs von [12] vernachlässigt ($s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,064 \text{ kN/m}^2$ für die genaue Anwendung).

Bestimmung der Windeinwirkung gemäß [15] bis [17]

Grundwert der Windgeschwindigkeit $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,00 \cdot 1,00 \cdot 26 = 26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Mittlere Windgeschwindigkeit $v_m(z)$:

- Geländekategorie 0: $z_0 = 0,003 \text{ m}$ und $z_{min} = 1 \text{ m}$;

Bemessungsregeln für Wellprofile

- $z_{0,II} = 0,05 \text{ m};$
- Geländebeiwert $k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,003}{0,05}\right)^{0,07} = 0,156;$
- Rauheitsfaktor $c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,156 \cdot \ln\left(\frac{16}{0,003}\right) = 1,339;$
- $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 1,339 \cdot 1,00 \cdot 26 \approx 34,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1};$

$$\text{Windturbulenz } I_v(z) = \frac{k_t}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1,00}{1,00 \cdot \ln(16/0,003)} = 0,117$$

$$\text{Maximaler Winddruck } q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,117] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 34,8^2 \approx 1,38 \text{ kN/m}^2$$

Druckbeiwert für Pultdächer:

- $\theta = 45^\circ;$
- Außendruckbeiwert $c_{pe,10}$:
 - o Zone H:
 - Wind von 0° : 0,6;
 - Wind von 180° : -0,7;
 - Wind von 90° : -1,0;
 - o Zone I: -0,9;
- Innendruckbeiwert $c_{pi} = +0,2/-0,3;$
- Aerodynamischer Beiwert $c_{p,net}$:
 - o Für Einwirkung aus Winddruck: $c_{p,net} = 0,9;$
 - o Für Einwirkungen aus Windsog: $c_{p,net} = -1,2.$

Windlasten W_{50} :

- Für Druckeinwirkung: $W_{50}^+ = 1,24 \text{ kN/m}^2$
- Für Sogeinwirkung: $W_{50}^- = -1,65 \text{ kN/m}^2$

Lastkombinationen gemäß [8], [9] und des Belgischen nationalen Anhangs [8]

Die maßgebende Kombination der Druckeinwirkung ist: $Q^+ = 1,50 \cdot W_{50}^+ + 1,35 \cdot g_0 = 1,50 \cdot 1,24 + 1,35 \cdot 0,061 \approx 1,94 \text{ kN/m}^2$

Die maßgebende Kombination der Sogeinwirkung ist: $Q^- = 1,50 \cdot W_{50}^- + g_0 = 1,50 \cdot (-1,65) + 0,061 \approx -2,41 \text{ kN/m}^2$

Für g_0 siehe Kapitel 8.2.

Für den Nachweis der Verformung im GZG: $Q_{SLS} = W_{50}^+ + g_0 = 1,30 \text{ kN/m}^2.$

8.2. Beschreibung des Wellprofils aus Stahl

Das Wellprofil aus Stahl weist eine Wellenlänge von 76 mm, einen sinusförmigen Querschnitt, eine Höhe von 18 mm und eine Stahlkerndicke von 0,64 mm auf.



Abbildung 8.2 – 76.18 Wellprofil aus Stahl.

Das gewellte Profil hat die Stahlsorte S 320 GD + Z 275 und eine Nennblechdicke von 0,65 mm. Das Eigengewicht g_0 des Profils beträgt 0,060 kN/m².

Der Sicherheitsbeiwert γ_{M0} wird zu 1,00 angenommen.

8.3. Nachweis mittels des vereinfachten Ansatzes

8.3.1. Lasteinleitung

Es wird ein Feld mit einer Länge von 1,15 m unter gleichmäßig verteilter Belastung betrachtet.

Für Einwirkungen aus Winddruck führt der Ansatz der Lastkombination zu folgendem, siehe Kapitel 8.1.2: Ein aufgebracht Moment im Feld $M_{c,Ed} = (Q^+ \cdot L^2)/8 = (1,94 \cdot 1,15^2)/8 = 0,321$ kNm/m.

Für Einwirkungen aus Windsog führt der Ansatz der Lastkombination zu folgendem, siehe Kapitel 8.1.2: Ein aufgebracht Moment im Feld $M_{c,Ed} = (Q^- \cdot L^2)/8 = (2,41 \cdot 1,15^2)/8 = 0,399$ kNm/m.

Für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit bei Anwendung des gängigen Kriteriums L/50 beträgt die maximale Durchbiegung 7,67 mm.

8.3.2. Anwendung des vereinfachten Verfahrens

Basierend auf der Nennblechdicke beträgt die Bemessungsdicke $t = 0,60$ mm.

Vor Anwendung des vereinfachten Verfahrens ist es notwendig zu überprüfen ob $R/t \leq 0,1 \cdot E/f_{yb}$:

- $R = 5h_w/4 = 22,5$ mm;
- $R/t = 37,50$;
- $0,1 \cdot E/f_{yb} = 0,1 \cdot \frac{210\,000}{320} = 65,625$.

Das Kriterium ist erfüllt, sodass das vereinfachte Verfahren angewandt werden kann:

- Flächenträgheitsmoment je Breitereinheit: $I_y = 0,13 \cdot t \cdot h^2$
 $= 0,13 \cdot 0,60 \cdot 18^2 = 25,27$ mm⁴/mm;
- Widerstandsmoment je Breitereinheit: $W_y = 0,26 \cdot t \cdot h = 0,26 \cdot 0,60 \cdot 18 = 2,81$ mm³/mm;
- Charakteristisches Biegemoment: $M_{c,Rk} = W_y \cdot f_{yb} = 2,808 \cdot 320 = 0,899$ kNm/m.

Somit ergibt sich das Bemessungsbiegemoment zu: $M_{c,Rd} = 0,899$ kNm/m.

Es wird angenommen, dass bei Berücksichtigung der Symmetrie des sinusförmigen Querschnitts des Blechs die Werte des Bemessungsbiegemoments bei andrückender Belastung und für abhebende Belastung gleich sind.

Nachweis der Tragfähigkeit und der Verformung

Bei andrückender Belastung: Feldmoment: $\frac{M_{c,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,321}{0,899} = 0,357 \leq 1,00$;

Bei abhebender Belastung: Feldmoment: $\frac{M_{c,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,399}{0,899} = 0,444 \leq 1,00$.

Die Tragfähigkeit des Wellprofils aus Stahl wird im GZT nachgewiesen.

Die Verformung des Wellprofils aus Stahl als Einfeldträger wird bestimmt durch:

$$y = \frac{5 \cdot (W_{50}^+ + g_0) \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_y} = 8,57 \text{ mm}$$

Das Verformungskriterium $L/50$ wird nicht betrachtet, da die Verformung des Wellprofils aus Stahl ($y = 8,57 \text{ mm}$) den maximal zulässigen Wert von $7,67 \text{ mm}$ überschreitet.

Zusätzlich können Verbindungsmittel gemäß [2], Absatz 8 nachgewiesen werden.

8.4. Nachweis unter Verwendung des genauen Verfahrens

8.4.1. Wellprofile aus Stahl

Das Wellprofil aus Stahl ist dasselbe wie das in Kapitel 8.2 beschriebene Erzeugnis: 76 mm Wellenlänge und 18 mm Höhe.

Das gewellte Profil hat Stahlsorte S 320 GD + Z 275 und eine Nennblechdicke von $0,65 \text{ mm}$. Das Eigengewicht g_0 des Profils beträgt $0,060 \text{ kN/m}^2$.

Der Sicherheitsbeiwert γ_{M0} wird zu $1,00$ angenommen.

8.4.2. Lasteinleitung

Wir setzen die wie in Kapitel 8.3.1 beschriebene Belastung an, um die Bedeutung des genauen Verfahrens im Vergleich mit dem vereinfachten Verfahren zu bestimmen.

8.4.3. Anwendung des genauen Verfahrens

Basierend auf der Nennblechdicke ergibt sich eine Bemessungsdicke von $t = 0,60 \text{ mm}$.

An dieser Stelle muss überprüft werden, ob $R/t \leq 0,04 \cdot E/f_{yb}$:

- $R = 5h_w/4 = 22,5 \text{ mm}$;
- $R/t = 37,50$;
- $0,04 \cdot E/f_{yb} = 0,04 \cdot \frac{210000}{320} = 26,25$.

$R/t > 0,04 \cdot E/f_{yb}$ und das charakteristische Biegemoment wird unter Verwendung der abgeminder-ten Druckspannung σ_c bestimmt: $M_{c,Rk} = W_y \cdot \sigma_c$.

Bestimmung des Flächenträgheitsmoments und des Widerstandsmoments:

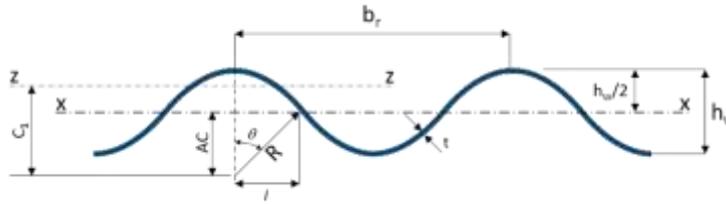


Abbildung 8.4.3.1 – Geometrische Parameter zur Bestimmung des Flächenträgheitsmoments und des Widerstandsmoments.

Radius der Krümmung: $R = 5 \cdot h_w / 4 = 22,5 \text{ mm}$;

Länge $l = h_w = 18 \text{ mm}$;

Winkel θ : $\sin \theta = l / R = 18 / 22,5$ und $\theta = 0,927 \text{ rad}$;

Abstand zwischen dem Schwerpunkt des Bogens ('z-z' -Achse) und dem Bogenmittelpunkt:

$$C_1 = (R \cdot \sin \theta) / \theta = \frac{22,5 \cdot \sin 0,927}{0,927} = 19,41 \text{ mm};$$

Abstand zwischen dem Bogenmittelpunkt und der Achse 'x-x':

$$AC = R - (h_w / 2) = 22,5 - 0,5 \cdot 18 = 13,5 \text{ mm};$$

Und schließlich, Flächenträgheitsmoment für ein Viertel des Bruttoquerschnitts:

$$I'_{xx} / t = R^3 \cdot \left(\frac{\theta + \sin \theta \cdot \cos \theta}{2} - \frac{(\sin \theta)^2}{\theta} \right) + (R \cdot \theta) \left[C_1 - \left(R - \frac{h_w}{2} \right) \right]^2$$

$$\frac{I'_{xx}}{t} = 22,5^3 \left(\frac{0,927 + \sin 0,927 \cdot \cos 0,927}{2} - \frac{(\sin 0,927)^2}{0,927} \right) + (22,5 \cdot 0,927) [19,41 - 13,5]^2$$

$$= 882,48 \text{ mm}^3 / \text{mm}$$

Und das Flächenträgheitsmoment je Breitereinheit beträgt:

$$I_{xx} = \frac{4 \cdot I'_{xx} \cdot t}{b_R} = \frac{4 \cdot 882,48 \cdot 0,60}{76} = 27,87 \text{ mm}^4 / \text{mm}$$

Das Widerstandsmoment wird berechnet durch:

$$W_y = \frac{4 \cdot I'_{xx} \cdot t}{b_R \cdot h_w / 2} = \frac{4 \cdot 882,48 \cdot 0,60}{76 \cdot 9} = 3,10 \text{ mm}^3 / \text{mm}$$

Bestimmung der Momenten Tragfähigkeit zur Berechnung der abgeminderten Spannung

Koeffizient:

$$\eta = 0,19 + 0,67 / (1 + R / (100 \cdot t))^{0,5} = 0,19 + 0,67 / (1 + 22,5 / (100 \cdot 0,60))^{0,5} = 0,761;$$

Knickspannung:

$$\sigma_{elr} = 0,60 \cdot \eta \cdot E \cdot t / R = 0,60 \cdot 0,763 \cdot 210\,000 \cdot 0,60 / 22,5 = 2558,23 \text{ N/m}^2;$$

Schlankheit:

$$\lambda = (f_{yb}/\sigma_{elr})^{0,5} = (320/2558,23)^{0,5} = 0,354;$$

Wenn gilt $0,30 < \lambda < 1,10$, lässt sich die abgeminderte Spannung bestimmen durch:

$$\sigma_c = (1,126 - 0,419 \cdot \lambda) \cdot f_{yb} = (1,126 - 0,419 \cdot 0,354) \cdot 320 = 312,9 \text{ N/mm}^2$$

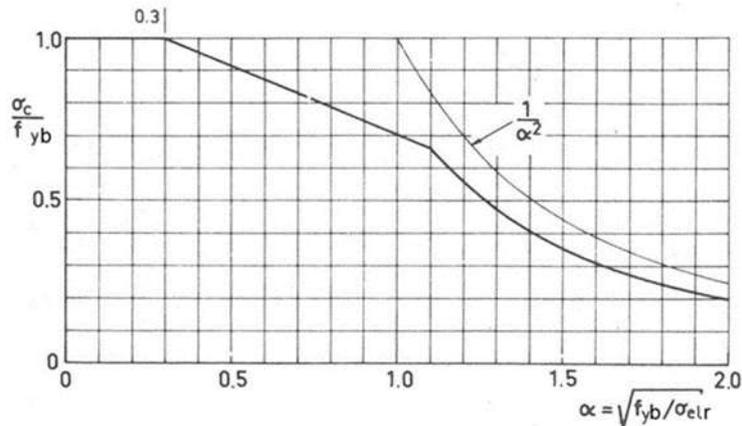


Abbildung 8.4.3.2 – Maximale Druckspannung unter Berücksichtigung von lokalem Beulen des zylindrischen Abschnitts des Profils.

Das charakteristische Biegemoment beträgt:

$$M_{c,Rk} = W_y \cdot \sigma_c = 3,15 \cdot 313,33 = 0,969 \text{ kNm/m}$$

Somit ergibt sich das Bemessungsbiegemoment zu: $M_{c,Rd} = 0,969 \text{ kNm/m}$.

Es wird angenommen, dass bei Berücksichtigung der Symmetrie des sinusförmigen Querschnitts des Profils die Werte des Bemessungsbiegemoments bei andrückender Belastung und für abhebende Belastung gleich sind.

Für das Flächenträgheitsmoment zur Verwendung im GZG: $W_{y,SLS} = M_{c,Rk} / (f_{yb}/1,5) = 4,54 \text{ mm}^3/\text{mm}$, und $I_{y,SLS} = W_{y,SLS} \cdot (h_w/2) = 40,87 \text{ mm}^4/\text{mm}$.

Nachweis des Widerstands und der Verformung

Bei andrückender Belastung: Feldmoment: $\frac{M_{c,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,321}{0,969} = 0,331 \leq 1,00$;

Bei abhebender Belastung: Feldmoment: $\frac{M_{c,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,399}{0,969} = 0,412 \leq 1,00$.

Der Widerstand der Wellprofile aus Stahl im GZT wurde nachgewiesen. Das genaue Verfahren stellt einen Nutzen von ungefähr 8 % verglichen mit dem vereinfachten Verfahren dar.

Für den GZG, lässt sich die Durchbiegung des Wellprofils als Einfeldträger bestimmen durch:

$$y = \frac{5 \cdot (W_{50}^+ + g_0) \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_{y,SLS}} = 5,30 \text{ mm}$$

Das Durchbiegungskriterium $L/50$ wird berücksichtigt, da die Durchbiegung des Wellprofils aus Stahl ($y = 5,30 \text{ mm}$) nicht den maximal zulässigen Wert von $7,67 \text{ mm}$ überschreitet.

Zusätzlich können Verbindungsmittel gemäß [2], Abschnitt 8 nachgewiesen werden.

8.5. Nachweisführung der Software

8.5.1. Software Information

Auf der Website GRISPE plus (www.grispeplus.eu) ist eine Excel Software verfügbar.

8.5.2. Überprüfung des Beispiels

Eingabedaten sind zunächst die geometrischen Parameter:

- Radius der Krümmung: $R = 22,5 \text{ mm}$ für unser Beispiel;
- Höhe des gewellten Profils: $h = 18 \text{ mm}$;
- Wellenlänge: $p = 76 \text{ mm}$.

Des weiteren ist es notwendig den Elastizitätsmodul ($E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$), die Fließspannung ($f_{yb} = 320 \text{ N/mm}^2$) und das Widerstandsmoment ($W_y = 3150 \text{ mm}^3/\text{m}$ aus Kapitel 8.4.3). einzuführen.

Please fill in the red cells

results

R	22,50	[mm]	E	210 000,00	[N/mm ²]
t _{cor}	0,61	[mm]	f _{yb}	320,00	[N/mm ²]
h	18,00	[mm]	W _y	3 150,00	[mm ³ /m]
p	76,00	[mm]			

Generally applicable design procedure with respect to local buckling in the compressed area

R/t	36,885246 [-]	≤	0,04*E/f _{yb}	26,25 [-]
slenderness ratio	buckling stress	coefficient	compressive stress	
α [-]	σ _{dir} [N/mm ²]	η [-]	σ _c [N/mm ²]	
0,350	2 605,245	0,763	313,329	

M_{c,Rk} 0,987 [kNm/m]

Simplified procedure for restricted application range

Check conditions (all must be fulfilled):

single span girder	true/false?
uniformly distributed loads	true/false?
ratio R/t 36,885246 [-] ≤ 0,1*E/f _{yb} 65,625 [-]	true
steel core thickness t _{cor} ≥ 0,55 mm	true
profile height 18 mm ≤ h ≤ 46 mm	true
profile pitch 76 mm ≤ p ≤ 150 mm	true

M_{c,Rk} 0,914 [kNm/m]

Abbildung 8.5.2 – Exceltabellenblatt für Wellprofile aus Stahl.

Bemessungsregeln für Wellprofile

Vergleich zwischen dem analytischen Ergebnis und der Excel Software

Beide Methoden sind aufgrund der genauen Übereinstimmung aller Parameter und der folgenden Ergebnisse validiert:

- Schlankheitsgrad;
- Knickspannung;
- η Koeffizient;
- Druckspannung;
- Charakteristisches Biegemoment für das genaue Verfahren und das vereinfachte Verfahren.

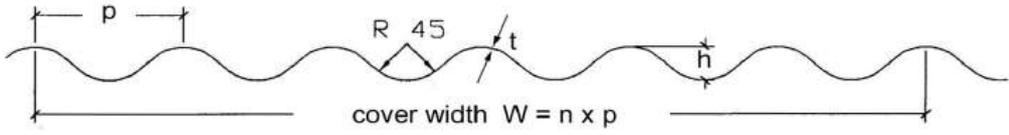
LITERATURVERZEICHNIS

- [1] CEN, EN 14782:2006 – Self-supporting metal sheet for roofing, external cladding and internal lining - Product specification and requirements, Brussels, 2006.
- [2] CEN, EN 1993-1-3:2007 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-3: General rule - Supplementary rules for cold-formed member and sheeting, Brussels, 2007.
- [3] DIN 59231:2003 – Hot-dip metal coated corrugated and profiled steel sheets – Dimensions, mass and static parameters, Berlin, 2003.
- [4] K. Le TRAN, L. DAVAINÉ, C. DOUTHE, K. SAB and J. DALLOT – Etude de la résistance et de la stabilité des panneaux cylindriques non-raidis soumis à une compression uniforme : application aux ouvrages d'arts, Revue Construction Métallique, 1-2012.
- [5] CEN, EN 1993-4-1:2007 – Eurocode 3: Design of steel structures - Part 4-1: Silos, Brussels, 2007.
- [6] StBK-N5, Swedish code for light-gauge metal structures, Stockholm, 1982.
- [7] CEN, EN 1990:2002 – Eurocode – Basis of structural design, Brussels, 2002.
- [8] CEN, EN 1990:2002/A1:2005 – Eurocode – Basis of structural design – Amendment A1, Brussels, 2005.
- [9] CEN, EN 1990:2002/A1:2005/AC:2010 – Eurocode – Basis of structural design – Amendment A1 - Corrigendum, Brussels, 2010.
- [10] CEN, EN 1991-1-1:2002 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings, Brussels, 2002.
- [11] CEN, EN 1991-1-1:2002/AC:2009 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings - Corrigendum, Brussels, 2009.
- [12] CEN, EN 1991-1-3:2003 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads, Brussels, 2003.
- [13] CEN, EN 1991-1-3:2003/AC:2009 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads - Corrigendum, Brussels, 2009.
- [14] CEN, EN 1991-1-3:2003/A1:2015 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads - Amendment A1, Brussels, 2015.
- [15] CEN, EN 1991-1-4:2005 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions - Wind actions, Brussels, 2005.
- [16] CEN, EN 1991-1-4:2005/AC:2010 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions - Wind actions – Corrigendum, Brussels, 2010.
- [17] CEN, EN 1991-1-4:2005/A1:2010 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions - Wind actions – Amendment A1, Brussels, 2010.

Bemessungsregeln für Wellprofile

- [18] CEN, EN 1993-1-1:2005 – Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, 2005.
- [19] CEN, EN 1993-1-1:2005/AC:2009 – Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings - Corrigendum, Brussels, 2005.
- [20] CEN, EN 1993-1-1:2005/A1:2014 – Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings – Amendment A1, Brussels, 2014.
- [21] CEN, EN 1993-1-3:2007/AC:2009 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-3: General rule - Supplementary rules for cold-formed member and sheeting - Corrigendum, Brussels, 2009.
- [22] CEN, EN 1995-1-1:2005 – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, Brussels, 2005.
- [23] CEN, EN 1995-1-1:2005/AC:2006 – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, Corrigendum, Brussels, 2006.
- [24] CEN, EN 1995-1-1:2005/A1:2008 – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, Amendment A1, Brussels, 2008.
- [25] CEN, EN 1995-1-1:2005/A2:2014 – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, Amendment A1, Brussels, 2014.

ANHANG: ERGÄNZUNGSPROJEKT ÜBERMITTELT AN CEN

AM-1-3-2013-75	
Subject	Load bearing capacity / characteristic values of corrugated profiles with sinusoidal or similar cross section
Clause No/ Subclause No/ Annex	
Reason for Amendment	No design rules by calculation available in EN 1993-1-3
Proposed Change	<p>In order to calculate the bending stiffness and the ultimate bending moment for corrugated profiles with sinusoidal or similar cross section, two approaches are proposed</p> <p>1. Generally applicable design procedure with respect to local buckling in the compressed area</p>  <p>Fig nn: Typical cross section, definition of parameters σ</p> <ul style="list-style-type: none"> • If $R/t \leq 0,04 * E / f_{yb}$: The cross section needs not be checked for local buckling

characteristic bending moment: $M_{c,Rk} = W_y * f_{yb}$

- If $R/t > 0,04 * E / f_{yb}$: The characteristic bending moment should be calculated using the reduced compressive stress $\sigma_c M_{c,Rk} = W_y * \sigma_c$

with:

slenderness ratio: $\lambda = (f_{yb} / \sigma_{elr})^{0,5}$

buckling stress $\sigma_{elr} = 0,60 * \eta * E * t / R$

coefficient η $\eta = 0,19 + 0,67 / (1 + R / (100 * t))^{0,5}$

for $\lambda < 0,30$ $\sigma_c = f_{yb}$

for $0,30 < \lambda < 1,10$ $\sigma_c = (1,126 - 0,419 * \lambda) * f_{yb}$

for $1,10 \geq \lambda$ $\sigma_c = (0,8 / \lambda^2) * f_{yb}$

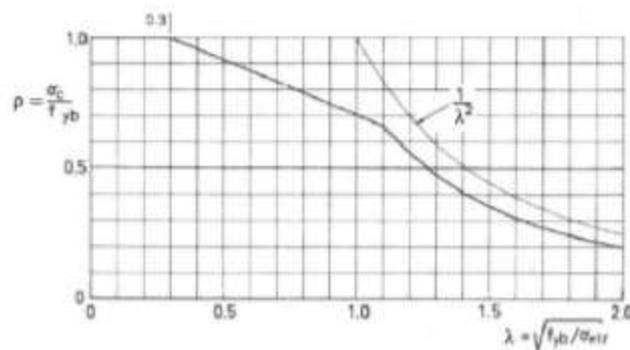


Fig nn: ultimate compressive stress with respect to local buckling of the cylindrical part of the profile

The moment of inertia, which is used to calculate deformations in serviceability limit state, should be calculated using the same procedure as for bending moment, but with reduced stress $f_{yb} / 1,5$.

2. Simplified procedure for restricted application range

If the conditions

- profile installed as single span girder and
- uniformly distributed loads and
- ratio $R/t \leq 0,1 * E / f_{yb}$ and
- steel core thickness $t_{cor} \geq 0,55$ mm and
- profile height $18 \text{ mm} \leq h \leq 46 \text{ mm}$ and
- profile pitch $76 \text{ mm} \leq p \leq 150 \text{ mm}$

are met, the following simplified procedure may be adopted:

	<p>moment of inertia per unit width $I_y = 0,13 * t * h^2$</p> <p>section modulus per unit width $W_y = 0,26 * t * h$</p> <p>characteristic bending moment: $M_{c,Rk} = W_y * f_{yb}$</p>
<p>Background Information</p>	<p>[1] D2.5 WP2 Background and draft annexes for EN 1993-1-3 for corrugated sheets, 31.12.2015, KIT</p> <p>[2] StBK-N5 Swedish Code for Light-Gauge Metal Structures, March 1982, SBI</p> <p>[3] EN 1993-4-1 Tanks</p>